

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international(43) Date de la publication internationale  
15 juillet 2004 (15.07.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2004/059658 A1**(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :

G21C 21/02

53, B-2400 Mol (BE). MERTENS, Léon [BE/BE];  
Chemin du Lanternier 13, B-1380 Lasne (BE).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/BE2002/000202

(74) Mandataires : CLAEYS, Pierre etc.; Gevers & Vander  
Haeghen, Holidaystraat 5, B-1831 Diegem (BE).

(22) Date de dépôt international :

24 décembre 2002 (24.12.2002)

(81) États désignés (*national*) : AE, AG, AL, AM, AT (modèle  
d'utilité), AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ (modèle d'utilité), CZ, DE (modèle  
d'utilité), DE, DK (modèle d'utilité), DK, DM, DZ, EC, EE  
(modèle d'utilité), EE, ES, FI (modèle d'utilité), FI, GB,  
GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,  
KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG,  
MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO,  
RU, SC, SD, SE, SG, SK (modèle d'utilité), SK, SL, TJ,  
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA,  
ZM, ZW.

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(71) Déposant (*pour tous les États désignés sauf US*) : BEL-  
GONUCLEAIRE SA [BE/BE]; Avenue Ariane 4, B-1200  
Bruxelles (BE).

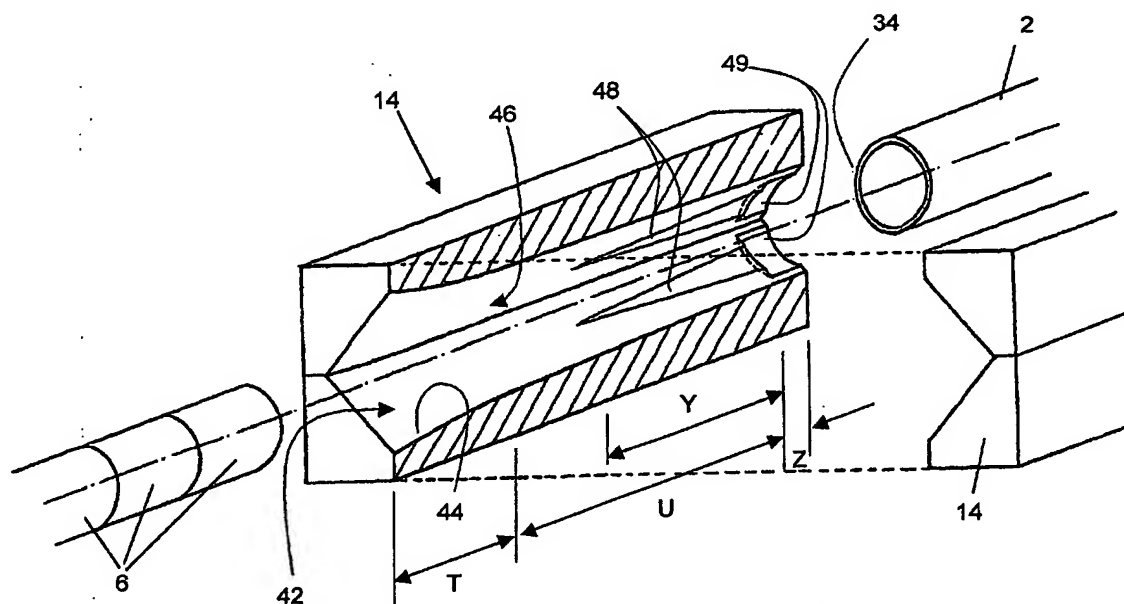
(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) : VAN-  
DERGHEYNST, Alain [BE/BE]; Rue de l'Yser 40,  
B-7370 Dour (BE). AERTS, Louis [BE/BE]; Rollekens(84) États désignés (*régional*) : brevet ARIPO (GH, GM, KE,  
LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet  
eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet  
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR LOADING NUCLEAR FUEL PELLETS

(54) Titre : METHODE ET DISPOSITIF DE CHARGEMENT DE PASTILLES DE COMBUSTIBLE NUCLEAIRE



(57) Abstract: The invention concerns a method and a device for loading nuclear fuel pellets in a cladding provided with its first plug, using an insertion element and requiring limited forces.

(57) Abrégé : Méthode et dispositif de chargement de pastilles de combustible nucléaire dans une gaine munie de son premier bouchon, à l'aide d'un élément d'introduction et en mettant en oeuvre des efforts limités.



FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR),  
brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,  
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abrévia-  
tions, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et  
abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de  
la Gazette du PCT.*

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

**"Méthode et dispositif  
de chargement de pastilles de combustible nucléaire"**

**Domaine de l'invention**

5           La présente invention concerne une méthode et un dispositif de chargement de pastilles de combustible nucléaire en colonnes successives dans une gaine métallique munie préalablement d'un premier bouchon à une de ses deux extrémités.

          Pour rappel, un crayon de combustible nucléaire est généralement  
10 constitué d'une gaine métallique en alliage de zirconium ou en acier inoxydable, de pastilles de combustible, le plus souvent d'un oxyde d'uranium ou d'uranium/plutonium, d'un ressort de maintien et de deux bouchons d'extrémité soudés. L'ensemble gaine et bouchons soudés assure l'étanchéité du crayon et le confinement des matières nucléaires vis-à-vis du milieu extérieur. Ces crayons sont remplis d'un gaz inerte (le  
15 plus souvent, hélium) pour assurer le transfert de la chaleur produite par les pastilles vers la gaine, et peuvent être pressurisés ou non. Le jeu entre pastilles et gaine est limité, typiquement de l'ordre de 150 - 200  $\mu\text{m}$  pour les réacteurs à eau légère.

          Dans certains cas, d'autres composants structuraux tels que tubes intercalaires, pastilles d'isolation, "getters",... peuvent être chargés en tête ou en pied  
20 du crayon.

          La politique de gestion des producteurs d'électricité et des concepteurs de combustible nucléaire vise à rechercher des taux d'épuisement de plus en plus importants lors du chargement et amène les fabricants à produire notamment du combustible MOX (ou Mixed Oxide, un mélange d'oxyde d'uranium et d'oxyde de  
25 plutonium), avec des teneurs en plutonium fissile de plus en plus élevées et avec des plutoniums d'origine civile ayant une composition isotopique de plus en plus dégradée. On observe une diminution de la fraction de  $^{239}\text{Pu}$  et une augmentation des fractions  $^{238}\text{Pu}$  et  $^{241}\text{Pu}$ . Cette dégradation de la composition isotopique augmente l'activité spécifique de ces plutoniums (notamment les activités  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , neutrons) et nécessite  
30 une protection accrue du personnel et des équipements.

En particulier, afin de préserver le personnel des radiations ionisantes et des poussières radioactives, la fabrication de crayons de combustible MOX exige typiquement que les opérations de chargement se déroulent dans des enceintes de confinement étanches (par exemple, du type boîtes à gants) et blindées. Il s'ensuit, 5 que pour ces raisons et pour accroître la productivité industrielle, qu'un grand nombre d'opérations, sinon toutes, s'effectuent de manière mécanisée et/ou automatisée avec un minimum d'intervention humaine directe.

Il importe par conséquent que la méthode de chargement des pastilles puisse

- 10 - être intégrée dans ces opérations automatisées, et
- présenter les pastilles de façon précise à l'extrémité ouverte de la gaine et notamment pallier les erreurs de positionnement inévitables des dispositifs d'alimentation en pastilles.

Il importe aussi que la méthode de chargement soit le moins possible 15 sensible à des blocages provoqués par des éclats ou poussières susceptibles d'être entraînés par les pastilles elles-mêmes et/ou d'être produits au cours des opérations de chargement elles-mêmes.

Pour les mêmes raisons, la méthode de chargement doit fonctionner sans effort excessif ou inutile sur les pastilles, qui risquerait de produire des éclats 20 supplémentaires ou des dégâts aux pastilles, préjudiciables à la qualité des crayons et à leur comportement en réacteur en particulier, soit que les pastilles sont exagérément endommagées, soit que ces éclats créent des espaces inacceptables entre pastilles.

Pour la sûreté du personnel des usines de fabrication, la sûreté des transports et la sûreté des réacteurs (contamination du circuit primaire), les 25 concepteurs et producteurs de combustible, MOX en particulier, limitent à des valeurs admises très faibles la contamination fixe et transférable de la surface externe des crayons chargés en pastilles.

Il importe donc également que la méthode de chargement des pastilles dans la gaine vise à limiter les parties de gaine exposées à la contamination et 30 l'importance de ces contaminations. En particulier, la méthode de chargement doit être conçue pour éviter de provoquer une incrustation de contamination dans la gaine et doit viser à éviter des opérations de décontamination par voie liquide, en raison du risque de criticité augmenté et de la production d'effluents liquides.

### Etat de la technique

La recherche des objectifs décrits plus haut (automatisation et faible sensibilité aux blocages, production de crayons non contaminés, ...) peut conduire à des options technologiques particulières pour les opérations en amont comme pour les  
5 opérations de chargement proprement dites. Citons par exemple la maîtrise de l'empoussièrément des pastilles avant chargement : par rectification humide ou sèche, par dépoussiérage des pastilles par voie mécanique ou par laser, par limitation de la fraction de rebuts recyclés, par manipulation douce des pastilles, lesquels contribuent à atténuer la fréquence des blocages et facilitent la maîtrise de la contamination des  
10 crayons.

Divers dispositifs et méthodes existant en rapport avec le domaine de la présente invention sont cités dans les documents repris ci-après :

- utilisation d'un dispositif/procédé de centrage pour l'introduction des pastilles dans la gaine, en l'absence de dispositifs particuliers de confinement (du type boîte à  
15 gants) :
  - centrage fixe et de forme cylindrique/tronconique (US 4 980 119, US 4 748 798, US 5 251 244),
  - centrage triple (un fixe + deux intermédiaires) et de révolution (US 3 940 908),
  - centrage fixe en forme de V (US 3 907 123),
  - 20 - centrage fixe à section polygonale ou carrée (US 4 942 014),
- utilisation d'un dispositif/procédé de centrage pour l'introduction des pastilles dans la gaine, monté dans une enceinte de confinement (du type boîte à gants) :
  - centrage fixe tronconique monté au centre de l'enceinte (US 3 925 965),
  - centrage monté en limite des deux zones active et inactive de l'enceinte de  
25 confinement, la zone active étant réservée au chargement des pastilles (WO 98/26428).

On notera que les dispositifs et méthodes connus des inventeurs et mentionnés ci-dessus ne répondent pas aux objectifs énoncés ci-dessus :

- soit que ces dispositifs sont sensibles aux poussières et éclats amenés par les  
30 pastilles en colonnes et/ou à ceux générés spécifiquement lors de l'opération de chargement dans la gaine; cette sensibilité se traduisant par des blocages mécaniques, générateurs d'arrêts machine, d'interventions d'opérateurs en enceintes de confinement, de risques de contamination des opérateurs, des ateliers et même parfois des compartiments des enceintes, qui devraient rester

- 4 -

faiblement ou non contaminés,

- soit que ces dispositifs de chargement des pastilles ne permettent pas de fabriquer des crayons à base de plutonium conformes à leur spécification de non contamination, lorsque la teneur en plutonium des pastilles et l'activité alpha du plutonium sont importantes, même au prix d'une opération supplémentaire de décontamination liquide,
- soit que ces dispositifs ne contribuent pas à piéger les éclats et ce faisant contribuent à augmenter la fréquence des crayons rebutés pour espaces excessifs entre pastilles successives.

10

### **Présentation de l'invention**

La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients cités ci-dessus et d'autres connus de l'homme de métier, et propose à cet effet une méthode qui influence favorablement les opérations de fabrication de crayons ainsi que la qualité des produits fabriqués en organisant notamment un guidage particulier des pastilles jusque dans la gaine sans que celles-ci ne puissent toucher l'extrémité ouverte de la gaine et avantageusement sans solliciter inutilement mécaniquement lesdites pastilles.

- A cet effet, suivant l'invention, on effectue :
- 20 - un rattrapage des décentrement entre un support et l'extrémité ouverte de la gaine, et un alignement de l'axe des pastilles avec l'axe de la gaine, à l'aide d'un canal dont le fond a un profil en V en rampe continue et en intersection avec une sortie cylindrique au diamètre des pastilles,
  - un centrage de la gaine dans une chambre centrée sur la partie cylindrique du canal,
  - 25 - un masquage de l'extrémité ouverte de la gaine à la pastille en cours de chargement,
  - un piégeage et/ou une collecte et/ou un refoulement des poussières et éclats, via les sections libres entre pastilles et parois du canal, par dépôt gravitaire et
  - 30 optionnellement par soufflage et/ou aspiration complémentaire.

Ces dispositions de l'invention résolvent avantageusement simultanément les problèmes de coincement des pastilles lors de leur chargement dans la gaine, et les problèmes d'introduction d'éclats dans cette même gaine et de formation de jeux entre pastilles inacceptables pour le crayon fini.

Suivant un mode de réalisation de l'invention, le chargement des pastilles dans la gaine est assuré en colonnes qui y sont introduites successivement, de façon à ce que la dernière pastille de chaque colonne soit enfoncée dans la gaine à une profondeur au moins égale à la longueur de la colonne suivante à charger dans la  
5 même gaine.

Cette disposition est avantageuse du fait que, jusqu'à ce qu'elle soit entièrement dans la gaine, chaque colonne ne subit qu'un effort modéré et que celui-ci n'augmente significativement lorsque ladite colonne entre en contact avec la(les) précédente(s), que lorsqu'elle est déjà à l'intérieur de la gaine et de ce fait bien guidée.

10 Cette disposition, comme les deux suivantes, contribue à mettre en oeuvre des efforts réduits sur les pastilles :

- limitation des efforts de poussée lors du chargement,
- chargement des pastilles dans une gaine sous vide ou sous hélium.

La présente invention concerne aussi un dispositif de présentation,  
15 centrage et alignement des pastilles lors du chargement dans la gaine, en particulier pour la mise en œuvre de la méthode suivant l'invention.

Suivant l'invention, le dispositif :

- est constitué d'une pièce métallique fixe traversée d'un canal dont les dimensions de l'entrée sont choisies pour accepter un décentrement des pastilles vis-à-vis de  
20 l'axe de la gaine et dont le fond a un profil en V en rampe continue et en intersection avec une sortie cylindrique au diamètre des pastilles, et pourvue d'une chambre cylindrique au diamètre de la gaine et centrée sur la sortie cylindrique du canal,
- présente des dimensions et tolérances adaptées aux dimensions desdites pastilles  
25 et gaine, et telles que le diamètre de la partie cylindrique du canal est inférieur au diamètre intérieur de la gaine, aux fins de masquer l'extrémité de la gaine aux pastilles, et
- présente facultativement des dégagements longitudinaux et/ou transversaux et des ajutages pour souffler un gaz dans un sens inverse au sens du chargement  
30 et/ou aspirer les poussières et éclats.

### **Avantages**

Parmi d'autres avantages procurés par l'invention, on citera les :

- chargement de tout type de combustible nucléaire sous forme de pastilles, même à

- 6 -

jeu gaine/pastilles serré et en particulier le chargement de pastilles à haute teneur en plutonium,

- différentes possibilités de mise en œuvre : depuis des processus complètement manuels jusqu'à des processus complètement automatiques,
- 5 - chargement de pastilles empoussiérées sans précaution particulière,
- absence d'incrustation de la contamination dans et aux environs immédiats de la face d'extrémité ouverte de la gaine,
- limitation de la contamination lors des opérations de chargement de pastilles contaminées, en particulier de pastilles MOX, conduisant à limiter les opérations
- 10 sur les crayons aux seuls nettoyage par frottement de la zone d'extrémité ouverte du crayon et mesure de non contamination transférable en sortie par frottis mécanique,
- absence de dégâts aux pastilles par la limitation et le contrôle de l'effort de chargement,
- 15 - absence de crayons rebutés par suite de présence d'écarts inter-pastilles inacceptables, d'inclusions dans la soudure circonférentielle entre bouchon et gaine, d'une contamination hors spécifications, ...
- production limitée d'effluents et économie générale d'exploitation.

20 D'autres détails et particularités de l'invention ressortiront des autres revendications et de la description des dessins schématiques, à échelles non déterminées, qui sont annexés au présent mémoire et qui illustrent, à titre d'exemples non limitatifs, la méthode et des formes de réalisation particulières du dispositif suivant l'invention.

25

### **Description des figures**

La figure 1 montre en coupe axiale une forme de réalisation d'un crayon de combustible dont la gaine peut être chargée de pastilles en mettant en oeuvre de l'invention.

La figure 2A montre dans une vue en perspective une forme de réalisation d'un dispositif de chargement de crayons de combustible de l'invention.

La figure 2B montre des exemples de réalisation de dégagements longitudinaux et transversaux et d'ajutages de gaz G.

Les figures 3A à 3F montrent dans une vue en plan les différentes étapes d'une séquence de chargement des colonnes successives de pastilles dans la



gaine, pour la mise en oeuvre de l'invention. La figure 3A montre de plus un dispositif de limitation des efforts de poussée.

Dans les différentes figures, les mêmes notations de référence désignent des éléments identiques ou analogues.

5

### **Description de l'invention**

Un crayon 1 (figure 1) concerné par l'invention, peut comporter, comme déjà mentionné et comme cela est connu, une gaine 2 bouchée à une extrémité par un premier bouchon 3 et à l'autre extrémité par un second bouchon 4. Entre ces bouchons  
10 3 et 4 peuvent être enfermés dans la gaine 2 des pastilles 6, un ressort 7 et des composants structuraux, comme un ou des éléments intercalaires 5.

Le dispositif et la méthode de chargement de pastilles 6 dans une gaine 2 précitée, objet de l'invention, sont expliqués conjointement dans la présente description du fait de leur imbrication réciproque complète.

15 La méthode de l'invention consiste, dans une gaine 2 munie préalablement d'un premier bouchon 3 à une de ses deux extrémités, à (figures 2) :

- présenter, centrer et aligner les pastilles 6 en colonnes 12 à l'extrémité ouverte 34 de la gaine 2, en position et en orientation afin d'éviter des coincements mécaniques,
- 20 - éliminer de la colonne 12 de pastilles 6 les poussières et éclats amenés par et/ou adhérent aux pastilles chargées, et/ou générés par les opérations de présentation, centrage et alignement.

Suivant l'invention, on effectue (figures 2 et 3) un rattrapage de décentrement entre le support 38 et l'extrémité ouverte 34 de la gaine 2 et un  
25 alignement de l'axe des pastilles 6 avec l'axe de la gaine 2. A cet effet, on guide les pastilles 6, en vue de leur alignement et centrage, à l'aide d'un canal 42 dont le fond a un profil en V en rampe continue (T + U) et en intersection avec une sortie cylindrique (Y) 48 au diamètre des pastilles 6, comme décrit en détail ci-après. On centre la gaine 2 dans une chambre (Z) 49 axée sur la partie cylindrique (Y) 48 dudit canal 42.  
30 Simultanément, on masque l'extrémité ouverte 34 de la gaine 2 à chaque pastille 6 en cours de chargement, afin d'éviter la contamination massive de la partie de la gaine 2 proche de son extrémité ouverte 34 et des interférences et blocages mécaniques supplémentaires. Ce masquage évite également que se produise une incrustation de contamination sur la face d'extrémité ouverte 34.

- 8 -

On piège et/ou collecte et/ou refoule des aérosols, poussières et éclats, via des sections libres entre pastilles 6 et parois du canal 42 et/ou des dégagements, par dépôt gravitaire et optionnellement par soufflage et/ou aspiration complémentaire. Ces poussières et éclats qui sont soit amenés par lesdites pastilles 6 en cours de  
5 chargement, soit produits au cours de l'opération de chargement elle-même pourraient sinon conduire à un coincement des pastilles 6 lors de leur introduction dans la gaine 2 ou à des crayons rebutés, en cas de leur introduction dans la gaine.

Comme le montrent les figures 3B, 3E, les pastilles 6 d'une colonne 12 sont avantageusement enfoncées dans la gaine 2 jusqu'à une profondeur  
10 d'introduction de la dernière pastille 6 de cette colonne 12 dans la gaine 2, au moins égale à la longueur de la colonne 12 suivante à charger dans la même gaine 2. Ainsi, la figure 3B montre la colonne 12a dans sa position enfoncée, laissant un espace libre pour recevoir la colonne 12b suivant les figures 3D, 3E. Comme indiqué plus haut, jusqu'à sa complète introduction dans la gaine, l'effort de poussée sur une colonne est  
15 limité au seul effort de poussée de celle-ci.

Le chargement desdites pastilles 6 en colonnes 12 successives dans ladite gaine 2 est effectué de préférence en limitant les efforts maximaux de poussée sur les colonnes 12 lors dudit chargement, en fonction de la profondeur d'introduction et de l'ordre N (N allant de "a" à "e" à titre d'exemple dans les figures 3) de la colonne  
20 12 en cours de chargement dans une même gaine 2. Ainsi, on règle la poussée de façon à ce qu'elle soit d'un certain niveau maximal unique pour amener les colonnes successives 12a-e jusque dans la gaine 2 (figure 3D); on règle encore la poussée pour déplacer le train de colonnes à un autre niveau maximal variable en fonction du nombre de colonnes déjà chargées.

25 Le chargement des pastilles dans une gaine 2 sous vide au départ d'une enceinte elle-même sous vide réduit notablement les efforts mis en oeuvre, ainsi que la contamination générée par l'expulsion d'un éventuel gaz contenu dans la gaine par les pastilles qui y sont chargées. Ce chargement sous vide permet également d'éviter de devoir tirer ultérieurement un vide dans ou de devoir rincer la gaine 2 chargée de  
30 pastilles 6, aux fins de remplacer le gaz présent par un gaz inerte, lors des opérations d'emmanchement du bouchon 4 et de soudage.

Le chargement direct sous hélium procure des avantages comparables en raison notamment de sa faible viscosité dynamique.

Ces dispositions permettent de limiter les efforts appliqués aux pastilles

6 et d'éviter de les endommager.

Le dispositif de l'invention, pour les présentation, centrage et alignement de pastilles 6 en vue de leur chargement dans une gaine 2 est destiné en particulier à la mise en œuvre de la méthode de l'invention, décrite ci-dessus.

5 Ce dispositif, dit de chargement, comporte un élément de guidage fixe 14 constitué d'une pièce métallique qui est traversée par un canal 42 dont les dimensions de l'extrémité d'entrée (T) 44 sont choisies pour accepter un décentrage des pastilles 6 vis-à-vis de l'axe de la gaine 2 et dont le fond a un profil en V en rampe continue (T + U) et en intersection avec une sortie cylindrique (Y) 48 au diamètre des  
10 pastilles 6, et qui est pourvue d'une chambre cylindrique (Z) 49 au diamètre extérieur de la gaine 2 qui y est introduite pour être positionnée et centrée par cela par rapport à la sortie cylindrique (Y) 48 du canal 42. Cet élément de guidage 14 présente des dimensions et tolérances adaptées aux dimensions desdites pastilles 6 et gaine 2, et telles que le diamètre de la partie cylindrique (Y) 48 du canal 42 soit inférieur au  
15 diamètre intérieur de la gaine 2, aux fins de masquer la face transversale de l'extrémité de la gaine 2 aux pastilles 6. Cet élément de guidage 14 peut de plus présenter des dégagements longitudinaux et/ou transversaux et des ajutages G pour souffler un gaz dans un sens inverse au sens du chargement et/ou aspirer les poussières et éclats.

Pour les amener à l'élément de guidage 14, les pastilles 6 sont le plus  
20 souvent présentées en colonnes 12 sur un V fixe ou sur un plateau 38 rainuré en V et déplaçable transversalement par rapport à la gaine 2, comme représenté aux figures 3.

En général, le profil en V du canal 42 présente successivement une entrée carrée sur pointe (T) 44 et un tronçon à section carrée sur pointe (U) 46 et en réduction continue en section transversale.

25 L'entrée carrée sur pointe 44 autorise des jeux latéraux et verticaux importants aux pastilles (jusqu'à 1 à 2 mm) aux fins d'accepter des désalignements d'origines multiples (par exemple, désalignements vertical et horizontal des V du plateau rainuré 38 présentant les colonnes 12 de pastilles).

Le tronçon de section carrée sur pointe (U) 46 présente en section  
30 transversale des dimensions continûment décroissantes afin de centrer et d'aligner progressivement les pastilles 6 par rapport à la gaine 2. Diverses lois de réduction peuvent être réalisées avec les machines à commande numérique modernes, par exemple depuis une réduction linéaire conduisant à un tronc de pyramide, jusqu'à une réduction non linéaire, par exemple quadratique telle que représentée aux figures 2,

permettant de rattraper des désalignements importants sur de courtes longueurs grâce aux changements de pente d'une trajectoire courbe.

La sortie cylindrique (Y) 48 a un diamètre DY légèrement plus grand que le diamètre Dp des pastilles 6 (par exemple  $DY = Dp_{\max} + 0,02 \text{ mm}$ ).

5 La chambre cylindrique (Z) 49 a un diamètre DZ légèrement plus grand que le diamètre Dg de la gaine 2 ( $DZ_{\text{nom}} = Dg_{\max} + 0,01 \text{ mm}$ , par exemple). Les sortie cylindrique (Y) 48 et chambre cylindrique (Z) 49 ont une tolérance diamétrale de -0 / +0,01 mm et une concentricité réciproque suffisante (par exemple meilleure que 0,01mm), en fonction des jeux disponibles entre pastilles 6 et gaine 2.

10 Des rainures ou dégagements longitudinaux et/ou transversaux peuvent encore être usinés dans la pièce 14 pour contribuer au piégeage des poussières et éclats.

Les changements de direction des pastilles 6, depuis la table d'alimentation 38 jusqu'à la sortie cylindrique (Y) 48 de l'élément de guidage 14, 15 provoquent de légers décalages entre les pastilles 6, ce qui permet à des éclats éventuels de quitter la colonne 12 de pastilles et de tomber au fond du canal en V (T + U) 42.

Le dispositif de l'invention peut encore comprendre (figures 3), pour le chargement susdit des pastilles 6, un moyen d'entraînement 50 de celles-ci, 20 comportant un poussoir 53 long et à entraînement sensitif, à déplacement axial provoqué par un jeu de galets 56 équipés d'un limiteur d'effort 54 à faible inertie et entraînés par un moteur 52 dont l'effort est limité en fonction de la profondeur d'introduction et de l'ordre N de la colonne 12 de pastilles en cours de chargement dans une même gaine 2.

25 Le poussoir 53 lui-même consiste en une tige creuse 53 de faible masse et de longueur adaptée pour que la profondeur d'introduction de la dernière pastille 6 d'une colonne 12 chargée dans la gaine 2 soit au moins égale à la longueur de la colonne 12 suivante à charger dans la même gaine 2.

Lors du chargement des colonnes 12 de pastilles, il importe en effet de 30 limiter les efforts à mettre en oeuvre dans le but de

éviter les efforts transversaux des pastilles 6 sur les parois de l'élément de guidage 14 et accessoirement sur la paroi interne de la gaine 2. Les pastilles 6 d'une colonne sous pression axiale ont tendance à se désaligner en fonction du manque de perpendicularité de leurs faces radiales et des jeux disponibles dans l'élément

- 11 -

de guidage 14 et la gaine 6. Ces efforts sont préjudiciables lorsque les pastilles 6 franchissent les transitions mécaniques successives (du plateau rainuré 38 dans l'élément de guidage 14, de l'élément de guidage 14 dans la gaine 2) et augmentent les forces réactives de frottement,

- 5 - éviter la production d'éclats et poussières supplémentaires au cours du chargement, par excès de pression locale sur les arêtes des pastilles 6 en contact par leurs faces d'extrémité.

Pour limiter l'effort susdit de chargement, trois méthodes peuvent être utilisées séparément ou en combinaison :

- 10 - charger les pastilles 6 sous vide ou sous un gaz à faible viscosité dynamique (par exemple de l'hélium) afin de limiter la contre-pression dans la gaine 2 lors de l'enfoncement des colonnes 12 de pastilles. Notons que le volume libre entre la première pastille 6 introduite et l'extrémité fermée de la gaine 2 diminue progressivement avec le chargement des pastilles 6 et peut être annulé en fin de
- 15 chargement dans certains dessins de crayons. De plus, dans le cas d'un chargement sous gaz, la perte de charge du gaz qui s'évacue au travers du jeu entre les pastilles 6 et la gaine 2 augmente dans le même temps avec l'allongement de la colonne totale des pastilles 6 introduites. Ces deux effets, volume libre décroissant et perte de charge croissante, ont par exemple pour
- 20 conséquence que, pour une même vitesse de chargement, la contre-pression augmente significativement en fin de chargement des pastilles 6 dans ladite gaine 2,
- enfoncer les colonnes de pastilles 6 en cours de chargement (figures 3) dans la gaine 2, d'une profondeur libre au moins égale à la longueur des colonnes
- 25 élémentaires 12 (figure 3B). De la sorte, la première pastille d'une colonne N, lors de son chargement dans la gaine, n'entre en contact avec la dernière pastille de la colonne (N-1) (figure 3D) déjà chargée et ne pousse le train des (N-1) colonnes déjà chargées, que lorsque la dernière pastille de la colonne N est déjà à l'intérieur de la gaine (figure 3E). De ce fait, les efforts transversaux développés par les
- 30 pastilles 6 sur la gaine 2 sont minimisés et d'un préjudice limité du fait de l'excellent guidage mécanique procuré par la gaine 2,
- utiliser un dispositif de poussée des pastilles à entraînement sensitif, à savoir qui vise à limiter de manière générale les efforts que peut développer celui-ci sur la colonne 12 de pastilles aux seuls efforts nécessaires. Comme expliqué plus haut,

ces efforts requis augmentent suivant que l'on pousse une colonne isolément ou un train de colonnes et augmentent au fur et à mesure qu'un plus grand nombre de colonnes élémentaires constituent le train de pastilles chargées. Ces efforts sont par exemple limités électroniquement par contrôle de l'alimentation électrique de

5 moteur 52 à courant continu ou servomoteur, en fonction de l'ordre N de la colonne chargée et de la profondeur d'enfoncement du poussoir. Enfin, compte tenu que les vitesses de chargement industrielle sont importantes, les effets d'inertie sont limités en utilisant un poussoir de pastilles 53 à tige creuse et un limiteur de couple à glissement à poudre magnétique 54.

10 En général, les éléments structuraux, autres que le ressort de maintien 7 et le second bouchon d'extrémité 4 et tels que pastilles d'isolation, pastilles de couverture, « getters », éléments intercalaires, entretoises,... sont chargés en même temps que les pastilles de combustible, à l'aide des mêmes méthode et dispositif de l'invention.

15 La réduction de la vitesse de poussée du train de colonnes de pastilles peut être avantageusement réalisée pour la ou les dernières colonnes chargées.

On notera encore que le dispositif de chargement de l'invention peut être utilisé pour l'introduction directe des pastilles dans la gaine, comme pour le centrage et l'alignement de celles-ci dans tout dispositif intermédiaire prévu avant la

20 gaine.

### **Mode de réalisation**

On trouvera ci-après un mode de réalisation mis en oeuvre par l'inventeur :

- 25 - chargement de pastilles MOX pour réacteurs à eau légère de diamètres divers (7 - 12 mm), contenant des rebuts de fabrication et rectifiées à sec, disposées sur un plateau rainuré déplacé transversalement pas à pas, en colonnes de 450 mm et à des vitesses d'introduction de 100 - 150 mm/sec,
- dispositif de chargement installé en boîte à gants sous hélium,
  - 30 - dispositif de centrage avec canal de forme pyramidale tronquée disposé sur pointe et à sortie cylindrique,
  - divers ajutages de soufflage de refoulement des aérosols et poussières,
  - dispositif de poussée long et sensitif.

Les inventeurs ont développé des - et ont déposé par ailleurs une

- 13 -

demande de brevet PCT pour des - « Méthode et dispositif de fabrication de crayons de combustible MOX non contaminés » au nom de la même déposante; ces méthode et dispositif permettent des vitesses de chargement industrielles (> 100 - 150 mm/sec) compatibles avec des usines de grande capacité; ces méthode et dispositif permettent  
5 de produire industriellement des crayons de combustible MOX non contaminés.

Il doit être entendu que l'invention n'est nullement limitée aux modes et formes de réalisation décrites et que bien des modifications peuvent être apportées à ces dernières sans sortir du cadre des revendications.

L'invention est en particulier applicable à la fabrication de combustibles  
10 à base d'oxyde d'uranium, avec ou sans poison consommable, ainsi qu'à de nouveaux types de combustibles nucléaires à base d'actinides autres que l'uranium (nitrures ou carbures d'uranium/plutonium, combustibles sans matière fertile destinés à des réacteurs incinérateurs ou transmetteurs d'actinides, MOX à base de thorium/plutonium, MOX avec poison consommable ou non,...).

15

### Revendications

1. Méthode de chargement des pastilles (6) de combustible nucléaire en colonnes (12) successives dans une gaine (2) munie préalablement d'un premier bouchon (3) à une de ses deux extrémités, comportant les opérations associées

5 suivantes :

- présenter, centrer et aligner les pastilles (6) d'une colonne (12) au départ d'un support (38) jusqu'à l'extrémité ouverte (34) de la gaine (2), et

*caractérisée en ce que*, pour le chargement des pastilles (6) on effectue :

- 10 - un rattrapage des décentrement entre le support (38) et l'extrémité ouverte (34) de la gaine (2) et un alignement de l'axe des pastilles (6) avec l'axe de la gaine (2), à l'aide d'un canal (42) dont le fond a un profil en V en rampe continue et en intersection avec une sortie cylindrique (48) au diamètre des pastilles (6),
- 15 - un centrage de la gaine (2) dans une chambre (49) centrée sur la sortie cylindrique (48) du canal (42),
- un masquage de l'extrémité ouverte (34) de la gaine (2) à la pastille (6) en cours de chargement,
- 20 - un piégeage et/ou une collecte et/ou un refoulement des poussières et éclats amenés par et/ou adhérent aux pastilles (6) chargées, et/ou générés par les opérations de présentation, centrage et alignement, via les sections libres entre pastilles (6) et parois du canal (42) et/ou via des dégagements, par dépôt gravitaire et optionnellement par soufflage et/ou aspiration complémentaire(s).

25 2. Méthode suivant la revendication 1, caractérisée par un chargement des pastilles (6) d'une colonne (12) dans la gaine (2), jusqu'à une profondeur d'introduction de la dernière pastille (6) dans la gaine (2) au moins égale à la longueur de la colonne (12) suivante à charger dans la même gaine (2).

3. Méthode suivant la revendication 2, caractérisée en ce que le chargement desdites pastilles (6) en colonnes (12) successives dans ladite gaine (2)  
30 est effectué en limitant les efforts maximaux de poussée lors du chargement, en fonction de la profondeur d'introduction et de l'ordre (N) de la colonne (12) en cours de chargement dans la même gaine (2).

4. Méthode suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que le chargement des pastilles (6) a lieu soit sous vide dans une



gaine (2) elle-même sous vide, soit sous hélium, dans une gaine (2) elle-même remplie d'hélium.

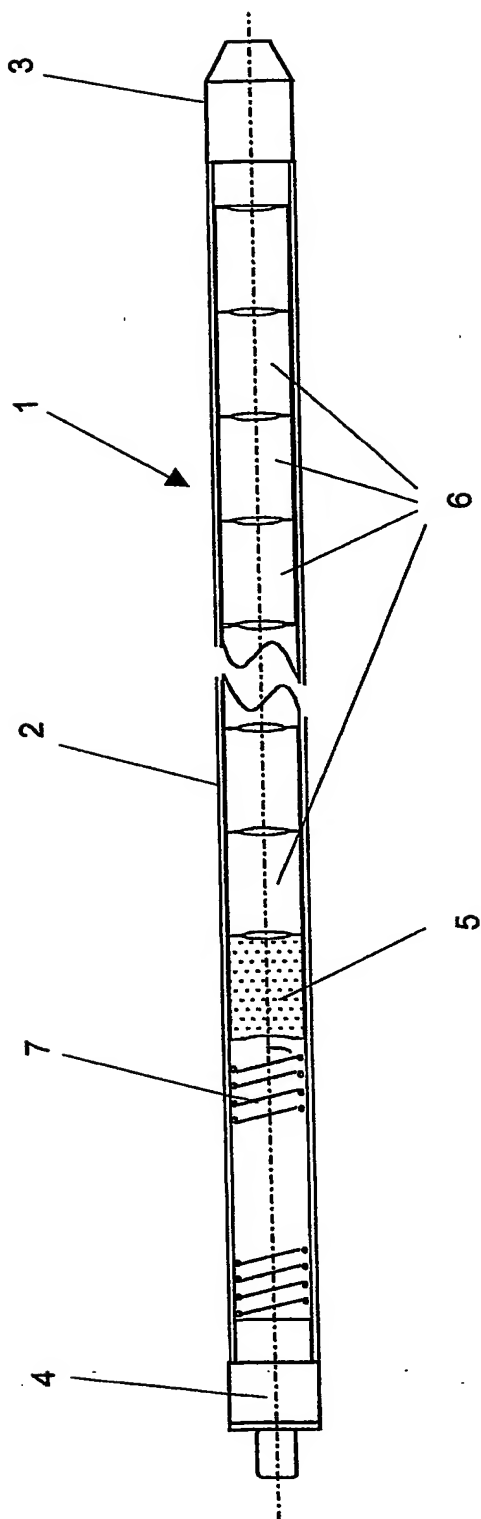
5. Dispositif de chargement de pastilles (6) dans une gaine (2), en particulier pour la mise en œuvre de la méthode suivant l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comporte, pour une présentation, un centrage et un alignement des pastilles (6) à l'entrée de la gaine (2), un élément d'introduction fixe (14)

- 10 – constitué d'une pièce métallique (14) traversée d'un canal (42) dont les dimensions de l'entrée (44) sont choisies pour accepter un décentrage des pastilles (6) vis-à-vis de l'axe de la gaine (2) et dont le fond a un profil en V en rampe continue et en intersection avec une sortie cylindrique (48) au diamètre des pastilles (6), et pourvue d'une chambre cylindrique (49) au diamètre de la gaine (2) et centrée sur la sortie cylindrique (48) du canal (42),
- 15 – présente des dimensions et tolérances adaptées aux dimensions desdites pastilles (6) et gaine (2), et telles que le diamètre de la partie cylindrique (48) du canal (42) est inférieur au diamètre intérieur de la gaine (2), aux fins de masquer l'extrémité (34) de la gaine (2) aux pastilles (6),
- 20 – présente facultativement des dégagements longitudinaux et/ou transversaux de piégeage et/ou des ajutages pour souffler un gaz dans un sens inverse au sens du chargement et/ou aspirer les poussières et éclats.

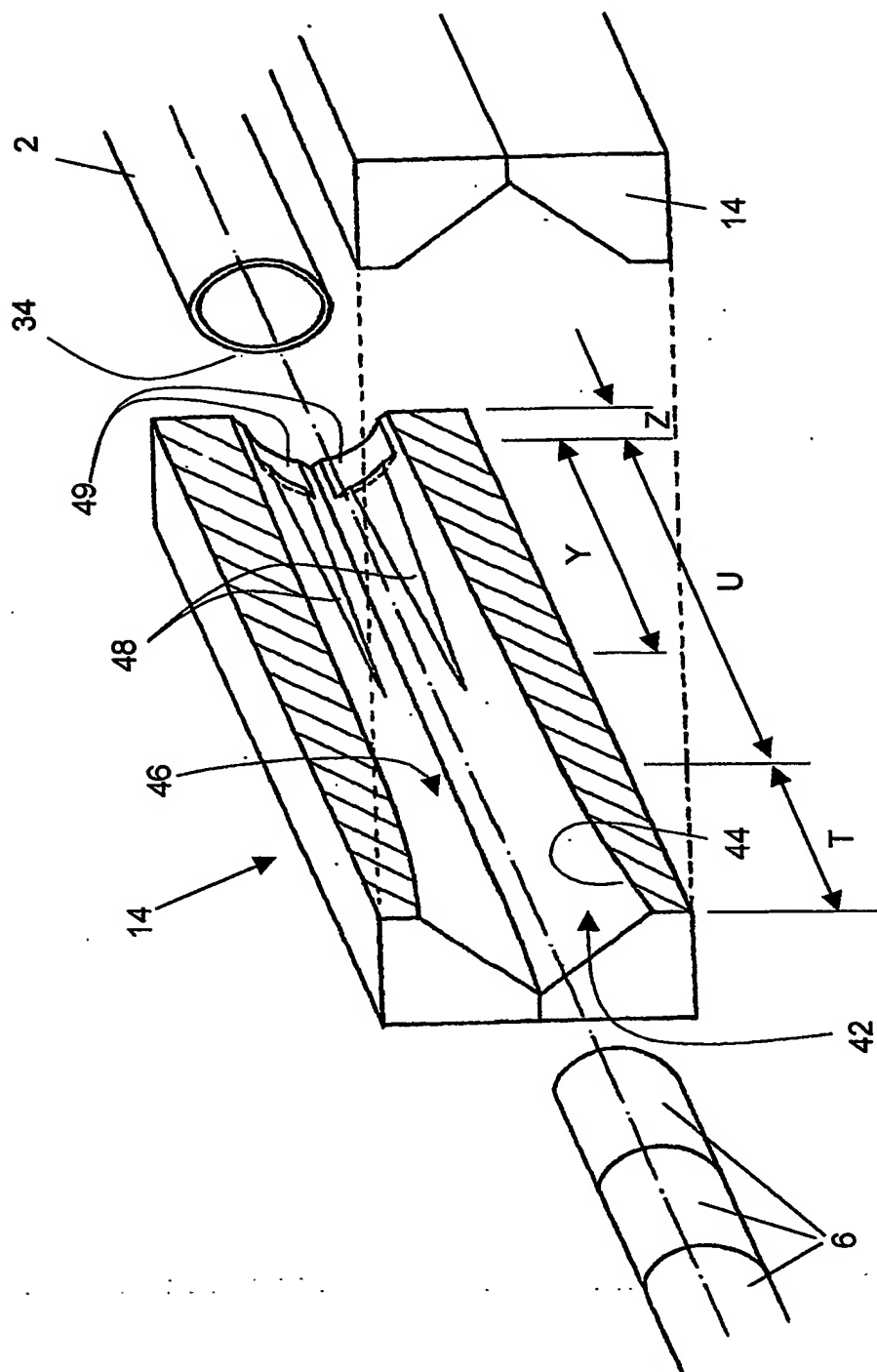
6. Dispositif suivant la revendication 5, caractérisé en ce qu'il comprend, pour le chargement susdit des pastilles (6), un poussoir (53) long et à entraînement sensitif, comportant :

- 25 – d'une part un entraînement axial par un jeu de galets (56) équipés d'un limiteur d'effort (54) à faible inertie et entraînés par un moteur (52) dont l'effort est limité en fonction de la profondeur d'introduction et de l'ordre (N) de la colonne (12) de pastilles (6) en cours de chargement dans une même gaine (2), et
- 30 – d'autre part une tige creuse (53) de faible masse et de longueur adaptée, pour que la profondeur d'introduction de la dernière pastille (6) d'une colonne (12) chargée dans la gaine (2) soit au moins égale à la longueur de la colonne (12) suivante à charger dans la même gaine (2).

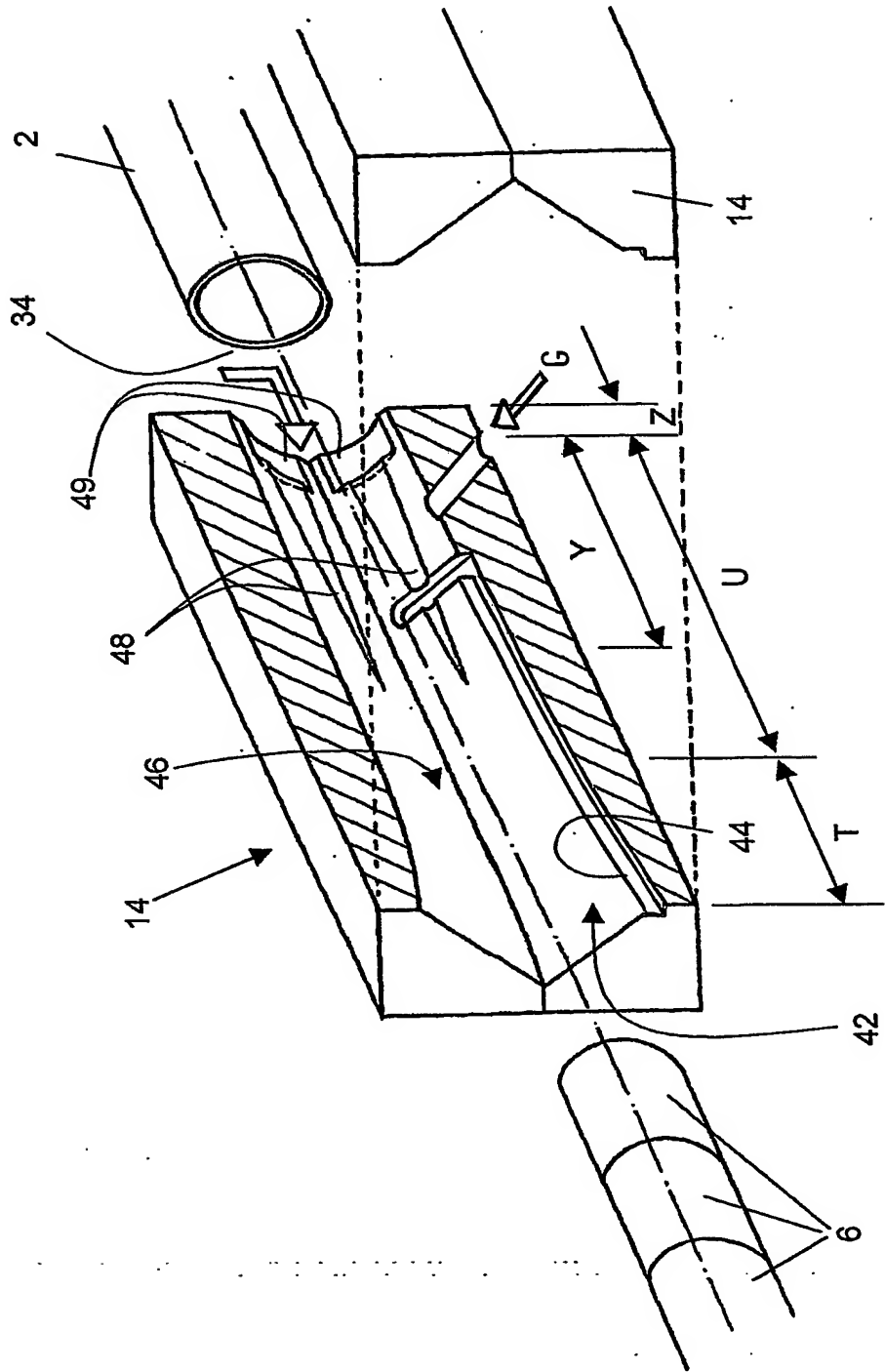
1/5



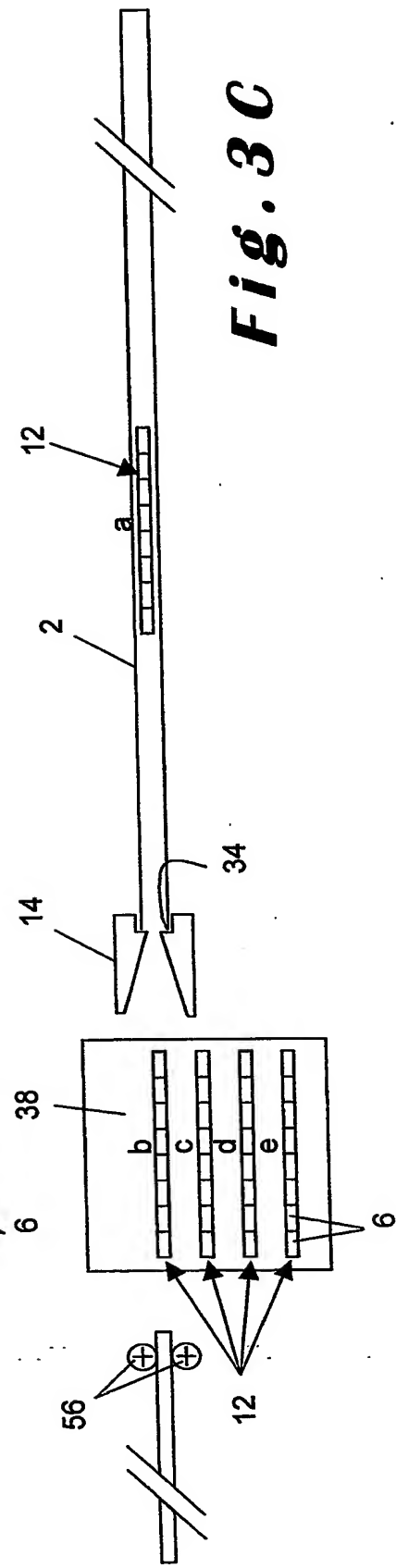
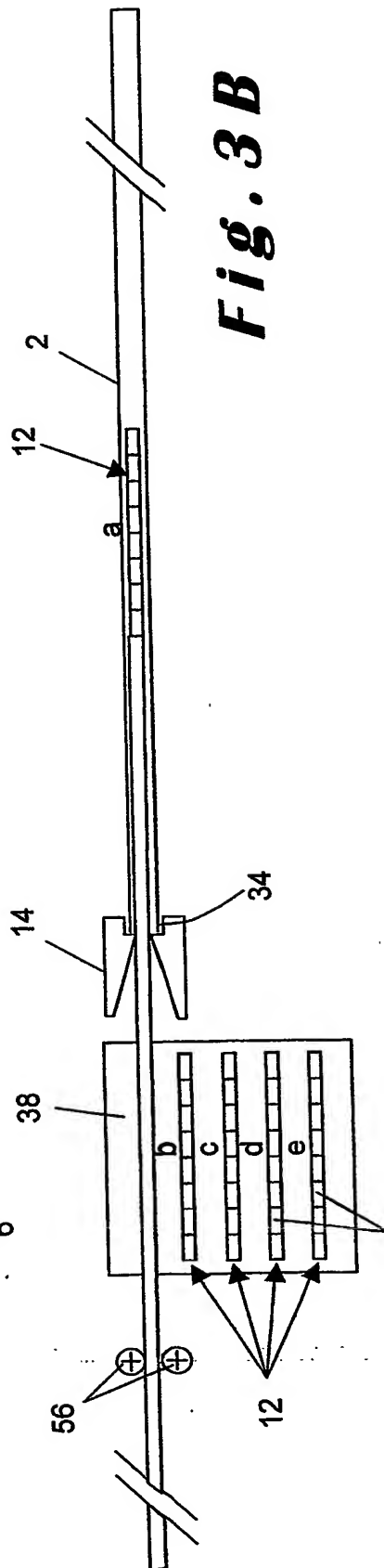
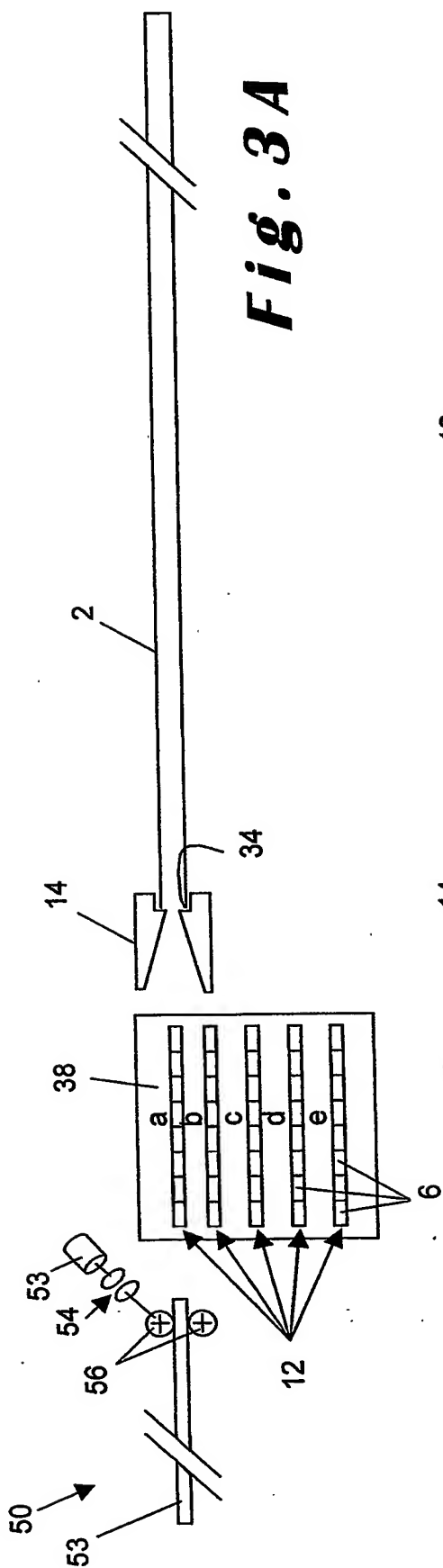
**Fig. 1**

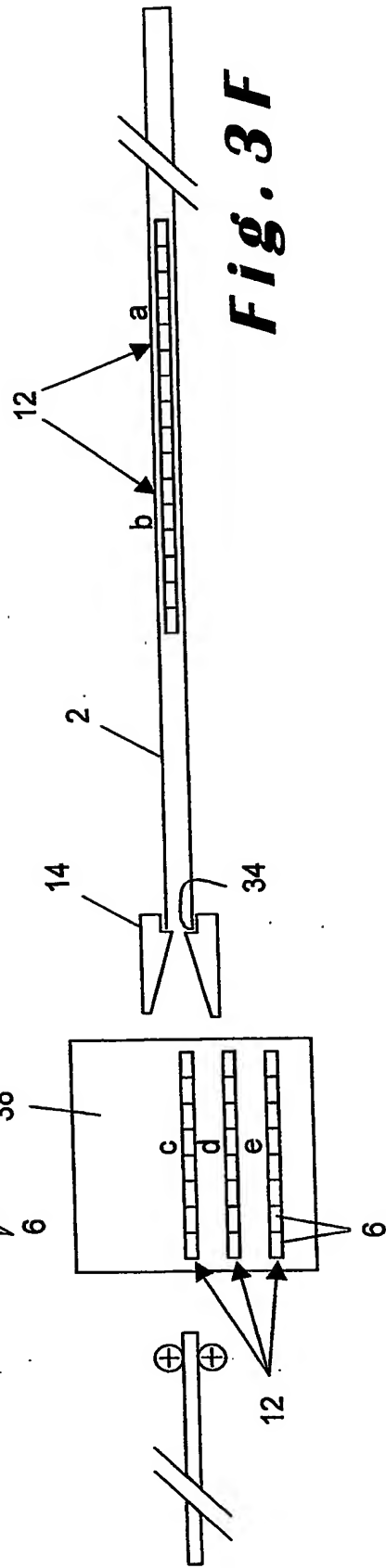
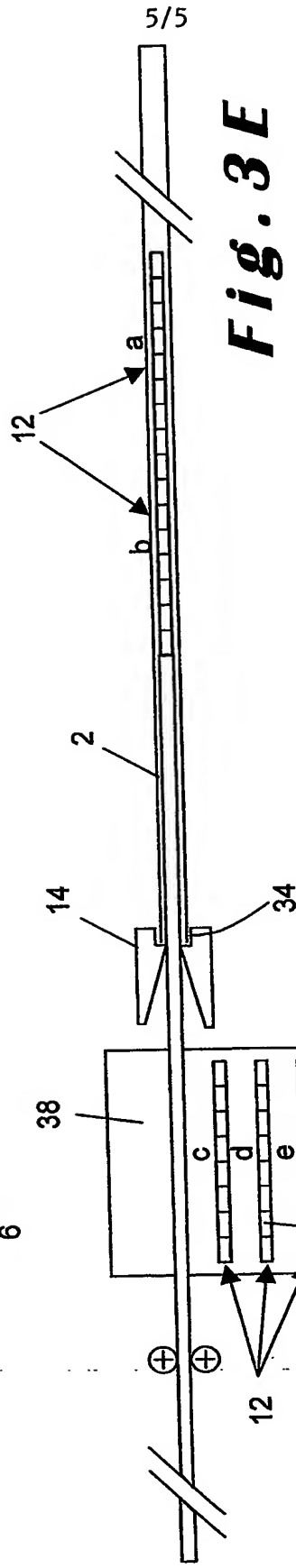
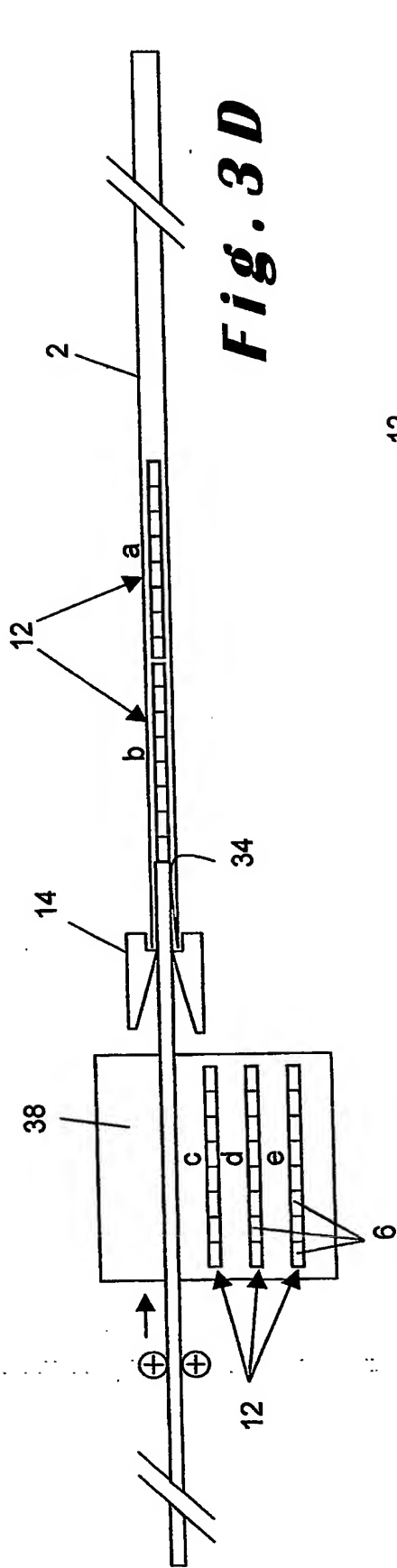


**Fig. 2A**



**Fig. 2B**





# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International No  
PCT/BE 02/00202

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 G21C21/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 G21C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 3 907 123 A (HOWELL THOMAS E) 23 September 1975 (1975-09-23)	1,5
A	column 2, line 37 -column 4, line 15; figures 1-5	4
Y	EP 0 391 642 A (GEN ELECTRIC) 10 October 1990 (1990-10-10) column 3, line 29 -column 4, line 1 column 6, line 26-53 column 18, line 6-24 column 19, line 27-33 figures 1,13,15-17	1,2,4,5
Y	US 3 735 550 A (MOORE C ET AL) 29 May 1973 (1973-05-29) column 2, line 36 -column 3, line 67; figures 1-9	1,2,4,5
	--- -/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 August 2003

Date of mailing of the international search report

01/09/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Jandl, F

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internatio      lication No  
PCT/BE 02/00202

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 292 788 A (KING HAROLD B) 6 October 1981 (1981-10-06) column 9, line 10 -column 10, line 23 column 13, line 18-37 column 17, line 1-38; figures 1-4,14,16 -----	1-6
A	JP 58 215596 A (GENSHI NENRYO KOGYO) 15 December 1983 (1983-12-15) figure 1 -----	1-3,5,6



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Internatic

ication No

PCT/BE 02/00202

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 3907123	A	23-09-1975	ES 423979 A1 FR 2232043 A1 JP 50035592 A	16-04-1977 27-12-1974 04-04-1975
EP 0391642	A	10-10-1990	EP 0391642 A2 JP 2287296 A JP 2510026 B2 US 4980119 A	10-10-1990 27-11-1990 26-06-1996 25-12-1990
US 3735550	A	29-05-1973	BE 777699 A1 CA 956090 A1 CH 554058 A DE 2162698 A1 ES 398714 A1 ES 433477 A1 FR 2121687 A5 IT 949322 B JP 51022594 B LU 64577 A1 NL 7200380 A ,B,	05-07-1972 15-10-1974 13-09-1974 10-08-1972 01-01-1976 16-11-1976 25-08-1972 11-06-1973 10-07-1976 22-06-1972 13-07-1972
US 4292788	A	06-10-1981	BE 887450 A1 DE 3104341 A1 ES 8702059 A1 FR 2475785 A1 GB 2069223 A ,B IT 1169045 B JP 56135193 A SE 441225 B SE 8100758 A	10-08-1981 14-01-1982 01-03-1987 14-08-1981 19-08-1981 20-05-1987 22-10-1981 16-09-1985 12-08-1981
JP 58215596	A	15-12-1983	NONE	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No  
PCT/BE 02/00202

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> CIB 7 G21C21/02		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b> Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) CIB 7 G21C		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, PAJ		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>		
Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 3 907 123 A (HOWELL THOMAS E) 23 septembre 1975 (1975-09-23)	1,5
A	colonne 2, ligne 37 -colonne 4, ligne 15; figures 1-5	4
Y	EP 0 391 642 A (GEN ELECTRIC) 10 octobre 1990 (1990-10-10) colonne 3, ligne 29 -colonne 4, ligne 1 colonne 6, ligne 26-53 colonne 18, ligne 6-24 colonne 19, ligne 27-33 figures 1,13,15-17	1,2,4,5
Y	US 3 735 550 A (MOORE C ET AL) 29 mai 1973 (1973-05-29) colonne 2, ligne 36 -colonne 3, ligne 67; figures 1-9	1,2,4,5
-/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <span style="margin-left: 100px;"><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</span>		
° Catégories spéciales de documents cités: <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>*A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>*E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>*L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>*O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>*P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>*T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>*X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>*Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>*Z* document qui fait partie de la même famille de brevets</p> </div> </div>		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée  <div style="text-align: center; font-weight: bold;">19 août 2003</div>		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale  <div style="text-align: center; font-weight: bold;">01/09/2003</div>
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé  <div style="text-align: center; font-weight: bold;">Jandl, F</div>

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No  
PCT/BE 02/00202

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 4 292 788 A (KING HAROLD B) 6 octobre 1981 (1981-10-06) colonne 9, ligne 10 - colonne 10, ligne 23 colonne 13, ligne 18-37 colonne 17, ligne 1-38; figures 1-4, 14, 16 -----	1-6
A	JP 58 215596 A (GENSHI NENRYO KOGYO) 15 décembre 1983 (1983-12-15) figure 1 -----	1-3, 5, 6

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/BE 02/00202

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 3907123	A	23-09-1975	ES 423979 A1 FR 2232043 A1 JP 50035592 A	16-04-1977 27-12-1974 04-04-1975
EP 0391642	A	10-10-1990	EP 0391642 A2 JP 2287296 A JP 2510026 B2 US 4980119 A	10-10-1990 27-11-1990 26-06-1996 25-12-1990
US 3735550	A	29-05-1973	BE 777699 A1 CA 956090 A1 CH 554058 A DE 2162698 A1 ES 398714 A1 ES 433477 A1 FR 2121687 A5 IT 949322 B JP 51022594 B LU 64577 A1 NL 7200380 A ,B,	05-07-1972 15-10-1974 13-09-1974 10-08-1972 01-01-1976 16-11-1976 25-08-1972 11-06-1973 10-07-1976 22-06-1972 13-07-1972
US 4292788	A	06-10-1981	BE 887450 A1 DE 3104341 A1 ES 8702059 A1 FR 2475785 A1 GB 2069223 A ,B IT 1169045 B JP 56135193 A SE 441225 B SE 8100758 A	10-08-1981 14-01-1982 01-03-1987 14-08-1981 19-08-1981 20-05-1987 22-10-1981 16-09-1985 12-08-1981
JP 58215596	A	15-12-1983	AUCUN	